

論文の内容の要旨

論文題目	多地点接続リアルタイム型アプリケーションに適用する分散処理型通信方式
学位 申請者	川端 明生

仮想化技術の進展によって、様々なアプリケーションがネットワーク内のクラウド上で動作可能となるが、広域なネットワークを介して多地点間通信を行うリアルタイム型アプリケーションでは、低遅延なエンド-エンド通信を実現する通信技術の確立が課題である。本論文は、ネットワーク上で動作するアプリケーションを通信サービスとして提供する場合のエンド-エンドの通信遅延時間を低減することを目的とする分散処理型通信方式を提案する。

提案方式は、ネットワーク内でユーザ端末と近いロケーションに配備された複数のサーバを用いてアプリケーションを分散処理する。ユーザ端末は複数のサーバからエンド-エンドの遅延時間を最小化するサーバを選択し、分散処理する複数のサーバ間では処理結果の同報通信を行う。ユーザ端末とネットワーク内に配備されたサーバとの通信は、ユーザ端末ごとにサーバとの通信遅延時間が異なるため、実際のイベント発生順序とネットワークを介したサーバへのイベント到着順序が異なる可能性があり、イベントの処理順序を補正する仕組みが必要となる。分散処理する各サーバでは、イベントの順序性を再現するために、現在時刻からイベントの順序を再現可能な時刻まで時間を遅らせた仮想時刻をあらかじめ計算し、仮想時刻上でイベントの順序を再現する。分散処理をするサーバでは、各ユーザ端末との通信遅延時間を事前に測定しておき、ユーザ端末毎の通信遅延時間に応じた待ち合わせを行うことで、仮想時刻上でイベント発生順序を再現する。

ネットワーク内の複数のサーバから、エンド-エンドの通信遅延時間を最小化するサーバを決定するためのサーバ選択問題として、現在時刻と仮想時刻の差であるユーザ端末補正時間を最小化する。サーバ選択問題についての計算複雑度の評価し、本問題はNP困難であることを示す。サーバ選択問題を線形計画問題として定式化し、エンド-エンドの通信遅延時間を最小化する仮想時刻と各ユーザ端末が選択するサーバを線形計画問題を解くことで決定する。

提案方式の性能評価として、サーバ間ネットワークトポロジおよびネットワーク上のサーバ配備箇所によるエンド-エンドの通信遅延時間を評価する。サーバ間ネットワークトポロジの評価では、同一のサーバ配備箇所異なるリンクトポロジで改善効果を比較し、フルメッシュ型やリング型のようにサーバ間が、最短距離に近い距離のリンクを持っているトポロジのほうが、遅延特性の改善効果が高いことを示す。また、サーバ配備箇所としては、よりユーザに近いロケーションにサーバを配備すると遅延特性の改善効果が高いことを示す。サーバ選択問題の評価としては、特定エリア内に一様分布した200台のユーザ端末について、本研究で定式化した最適化問題を解くことで、遅延時間を最小にするサーバが選択されることを示す。

実際のネットワークトポロジに近い条件における特性改善効果の確認として、日本のバックボーンネットワークの典型的なモデルを用いて、東京にサーバを配備する場合と全国に分散した複数のサーバで分散処理する場合を比較し、約25%のエンド-エンド通信遅延時間の改善があることを示す。

提案方式において3つの拡張を行う。第一の拡張として、通信遅延時間に許容最大値のあるアプリケーションへの適用を考慮する。第二の拡張として、ネットワーク輻輳時の遅延変動を考慮する。第三の拡張として、時間経過とともにユーザ端末が適宜追加されるアプリケーションへの適用を考慮した逐次参加型のユーザ参加方法を導入する。

前述の評価結果から、提案する分散処理型通信方式は、許容遅延時間のあるアプリケーションでは利用ユーザ端末数を最大化することが可能で、低遅延なエンド-エンド通信を幅広いユーザに提供可能な通信方式であることを示す。また、ネットワーク輻輳や逐次参加型のユーザ参加方法についても提案方式の拡張を行った結果、様々なアプリケーションや通信環境への適用が可能であることを示す。仮想化技術の進展とともに、ネットワーク内に様々なアプリケーションを配備する環境において、本研究により遅延特性に優れた通信環境を実現することが可能となり、より簡易にアプリケーションを利用するネットワークサービスの実現が期待される。

本論文では、本研究で得られた成果は、多地点接続リアルタイム型アプリケーションに適用する分散処理型通信方式を示すものであり、今後のリアルタイム型アプリケーションを提供するネットワークの開発において、要素技術となり得る。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 川端 明生

審査委員主査 大木 英司

委員 來住 直人

委員 山尾 泰

委員 伊藤 大雄

委員 寺田 実

仮想化技術の進展によって、様々なアプリケーションがネットワーク内のクラウド上で動作可能となるが、広域なネットワークを介して多地点間通信を行うリアルタイム型アプリケーションでは、低遅延なエンド-エンド通信を実現する通信技術の確立が課題である。本論文は、ネットワーク上で動作するアプリケーションを通信サービスとして提供する場合のエンド-エンドの通信遅延時間を低減することを目的とする分散処理型通信方式を提案する。

提案方式は、ネットワーク内でユーザ端末と近いロケーションに配備された複数のサーバを用いてアプリケーションを分散処理する。ユーザ端末は複数のサーバからエンド-エンドの遅延時間を最小化するサーバを選択し、分散処理する複数のサーバ間では処理結果の同報通信を行う。ユーザ端末とネットワーク内に配備されたサーバとの通信は、ユーザ端末ごとにサーバとの通信遅延時間が異なるため、実際のイベント発生順序とネットワークを介したサーバへのイベント到着順序が異なる可能性があり、イベントの処理順序を補正する仕組みが必要となる。分散処理する各サーバでは、イベントの順序性を再現するために、現在時刻からイベントの順序を再現可能な時刻まで時間を遅らせた仮想時刻をあらかじめ計算し、仮想時刻上でイベントの順序を再現する。分散処理をするサーバでは、各ユーザ端末との通信遅延時間を事前に測定しておき、ユーザ端末毎の通信遅延時間に応じた待ち合わせを行うことで、仮想時刻上でイベント発生順序を再現する。

ネットワーク内の複数のサーバから、エンド-エンドの通信遅延時間を最小化するサーバを決定するためのサーバ選択問題として、現在時刻と仮想時刻の差であるユーザ端末補正時間を最小化する。サーバ選択問題についての計算複雑度の評価し、本問題はNP困難であることを示す。サーバ選択問題を線形計画問題として定式化し、エンド-エンドの通信遅延時間を最小化する仮想時刻と各ユーザ端末が選択するサーバを線形計画問題を解くことで決定する。

提案方式の性能評価として、サーバ間ネットワークトポロジおよびネットワーク上のサーバ配備箇所によるエンド-エンドの通信遅延時間を評価する。サーバ間ネットワークトポロジの評価では、同一のサーバ配備箇所異なるリンクトポロジで改善効果を比較し、フルメッシュ型やリング型のようにサーバ間が、最短距離に近い距離のリンクを持っているトポロジのほうが、遅延特性の改善効果が高いことを示す。また、サーバ配備箇所としては、よりユーザに近いロケーションにサーバを配備すると遅延特性の改善効果が高いことを示す。サーバ選択問題の評価としては、特定エリア内に一様分布した200台のユーザ端末について、本研究で定式化した最適化問題を解くことで、遅延時間を最小にするサーバが選択されることを示す。

実際のネットワークトポロジに近い条件における特性改善効果の確認として、日本のバックボーンネットワークの典型的なモデルを用いて、東京にサーバを配備する場合と全国に分散した複数のサーバで分散処理する場合を比較し、約25%のエンド-エンド通信遅延時間の改善があることを示す。

提案方式において3つの拡張を行う。第一の拡張として、通信遅延時間に許容最大値のあるアプリケーションへの適用を考慮する。第二の拡張として、ネットワーク輻輳時の遅延変動を考慮する。第三の拡張として、時間経過とともにユーザ端末が適宜追加されるアプリケーションへの適用を考慮した逐次参加型のユーザ参加方法を導入する。

前述の評価結果から、提案する分散処理型通信方式は、許容遅延時間のあるアプリケーションでは利用ユーザ端末数を最大化することが可能で、低遅延なエンド-エンド通信を幅広いユーザに提供可能な通信方式であることを示す。また、ネットワーク輻輳や逐次参加型のユーザ参加方法についても提案方式の拡張を行った結果、様々なアプリケーションや通信環境への適用が可能であることを示す。仮想化技術の進展とともに、ネットワーク内に様々なアプリケーションを配備する環境において、本研究により遅延特性に優れた通信環境を実現することが可能となり、より簡易にアプリケーションを利用するネットワークサービスの実現が期待される。

本論文では、本研究で得られた成果は、多地点接続リアルタイム型アプリケーションに適用する分散処理型通信方式を示すものであり、今後のリアルタイム型アプリケーションを提供するネットワークの開発において、要素技術となり得る。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。